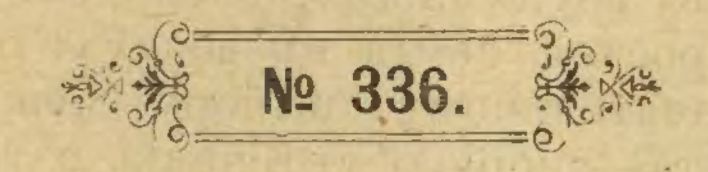
XXVIII сем. № 12

Вѣстникъ Опытной Физики
и
Элементарной Математики

31 Декабря  № 336. 1902 г.

Къ исторіи опредѣленій скорости свѣта.

Прив.-доц. Б. П. Вейнберга и З. П. Вейнбергъ.

*(Продолженіе *).*

6. **Проекты опредѣленія скорости свѣта изъ земныхъ опытовъ.** Установленіемъ конечной скорости свѣта астрономія, по выраженію астронома Lovering'a, щедро отплатила оптикѣ тотъ долгъ, который получила отъ нея въ видѣ изобрѣтенія телескопа. И до тридцатыхъ годовъ прошлаго столѣтія у физики не было и надежды когда-нибудь освободиться отъ опеки астрономіи въ этомъ вопросѣ и безъ ея посредства, безъ пользованія громадными астрономическими разстояніями, на землѣ убѣдиться въ конечной скорости распространенія свѣта, а тѣмъ болѣе, измѣрить ее. Надежда эта могла затеплиться лишь послѣ 1834 г., когда Wheatstone предложилъ принципъ вращающагося зеркала и въ 1836 г. примѣнилъ его къ опредѣленію, какъ тогда выражались, „скорости электричества", и получилъ 463 000 $\frac{\text{км.}}{\text{сек.}}$ — число того же порядка, какъ и скорость свѣта, которую къ этому времени считали близкою къ 310 000 $\frac{\text{км.}}{\text{сек.}}$.

Надежда эта могла еще усилиться послѣ доклада Arago въ Парижской Академіи Наукъ 3-го декабря 1838 г.

*) См. № 335 „Вѣстника".

Въ началѣ этого доклада Arago возражаетъ многимъ членамъ секціи физики, не согласнымъ съ нимъ въ оцѣнкѣ метода вращающагося зеркала, предложеннаго Wheatstone'омъ. Они считали этотъ методъ непримѣнимымъ для рѣшенія какихъ-нибудь иныхъ вопросовъ, кромѣ разработаннаго уже авторомъ. Arago же находилъ, что этотъ методъ—правда, значительно видоизмѣненный,—можетъ привести къ результатамъ, о которыхъ Wheatstone и не думалъ,—что онъ можетъ быть, напр., приложенъ къ разрѣшенію одного изъ труднѣйшихъ вопросовъ—къ опредѣленію относительныхъ скоростей свѣта въ воздухѣ и въ жидкости, что̀ послужитъ къ окончательному выбору между двумя теоріями распространенія свѣта—теоріею истеченія и теоріею волненія.

Вся эта полемика поднялась вслѣдствіе того, что Arago предложилъ Академіи Wheatstone'а, какъ кандидата на освободившееся въ то время мѣсто члена-корреспондента секціи физики, другіе же считали его научныя заслуги недостаточными.

Для доказательства обширности примѣненій метода вращающагося зеркала Arago предлагаетъ въ этомъ докладѣ примѣненіе его именно къ сравненію скоростей свѣта въ воздухѣ и въ жидкости, — примѣненіе, сущность котораго заключается въ слѣдующемъ.

Если бросить лучъ на плоское зеркало, то онъ отразится по извѣстнымъ законамъ отраженія. Если же представимъ, что зеркало при этомъ вращается, то въ то время, какъ оно отклонится на нѣкоторый уголъ α, отраженный лучъ отклонится на уголъ, равный 2α. Если бросимъ на зеркало пучокъ лучей, то, отклоняясь при его вращеніи означеннымъ образомъ, свое относительное положеніе лучи сохранятъ.

Положимъ, что взято два параллельныхъ горизонтальныхъ луча, выходящихъ изъ двухъ лежащихъ на одной вертикали, свѣтящихся точекъ и падающихъ на одну и ту же вертикальную линію на плоскомъ зеркалѣ, вращающемся вокругъ вертикальной же оси. Направленіе отраженныхъ лучей будетъ зависѣть отъ момента, въ который лучи достигнутъ зеркала. Если лучи выйдутъ одновременно изъ двухъ данныхъ свѣтящихся точекъ и достигнутъ зеркала также одновременно, то они отразятся одинаково, не мѣняя своего относительнаго положенія. Слѣдовательно, для того, чтобы параллельные лучи послѣ отраженія разошлись, нужно, чтобы они достигли зеркала въ различные моменты, между которыми зеркало успѣло бы повернуться на замѣтный уголъ.

По теоріи истеченія свѣтъ распространяется въ водѣ скорѣе, чѣмъ въ воздухѣ; по волновой теоріи—наоборотъ. Если одинъ изъ лучей, напримѣръ, верхній, заставить пройти сквозь трубу, наполненную водой, то онъ достигнетъ зеркала по первой теоріи раньше нижняго, а по второй—позже. Отраженіе произойдетъ въ томъ же порядкѣ и при вращеніи зеркала справа налѣво въ первомъ случаѣ наблюдатель увидитъ верхнюю точку лѣвѣе нижней, а во второмъ — наоборотъ. Если же возьмемъ не двѣ

свѣтящіяся точки, а свѣтящуюся вертикальную линію, то наблюдатель увидитъ ее въ зеркалѣ состоящею изъ двухъ вертикальныхъ линій, не лежащихъ на одной прямой, и верхняя ея часть будетъ въ такомъ же положеніи относительно нижней, какъ и верхняя точка, т. е. линія будетъ имѣть видъ $^1{}_1$, если вѣрна теорія истеченія, и видъ ${}_1{}^1$, если вѣрна теорія волненія.

Чтобы отклоненіе это было замѣтно, нужно, чтобы скорость вращенія зеркала была очень велика. Но Arago предполагалъ достигнуть тѣхъ же результатовъ, не увеличивая скорости вращенія больше 1000 оборотовъ въ секунду (бо́льшей скорости вращенія не удавалось получить), а пользуясь нѣсколькими вращающимися зеркалами. При отраженіи отъ вращающагося зеркала параллельныхъ лучей, достигающихъ до него не одновременно, они отклоняются, образуя между собою нѣкоторый уголъ a, при чемъ промежутокъ времени между отраженіемъ того и другого луча останется тѣмъ же, какимъ онъ былъ при паденіи. Поэтому, падая послѣ отраженія отъ перваго зеркала на второе, вращающееся съ одинаковою скоростью съ первымъ, они образуютъ при отраженіи уголъ, равный уже $2a$; при паденіи на третье зеркало уголъ $= 3a$ и т. д.

На основаніи вычисленій Bouguer'а Arago разсчиталъ, что, пройдя 80 футовъ воды, свѣтъ сохранитъ еще $^1/_{59}$ своей первоначальной силы. Далѣе, для отклоненія лучей на $1'$ нужно, чтобы зеркало отклонилось на $^1/_2{}'$; а такъ какъ зеркало употребляетъ на такое отклоненіе (при 1000 оборотовъ въ секунду) $\frac{1}{43200000}$ секунды, то Arago, считая уравненіе свѣта $= 8'13''$, вычислилъ, что свѣтъ успѣетъ пробѣжать за это время приблизительно 7 метровъ.

По теоріи истеченія отношеніе синуса угла паденія къ синусу угла преломленія при переходѣ свѣта изъ воздуха въ воду, равное приблизительно $\frac{4}{3}$, равно отношенію скорости свѣта въ водѣ къ скорости его въ воздухѣ. Такъ такъ пройденные пути пропорціональны скоростямъ, то въ то время, какъ свѣтъ пройдетъ всю трубу съ водою, онъ пройдетъ всего $^3/_4$ этого пути въ воздухѣ, и, слѣд., разность путей, пройденныхъ лучами, будетъ равна $^1/_4$ длины трубы.

А такъ какъ для отклоненія лучей на уголъ, равный $1'$, нужно, чтобы одинъ лучъ пробѣгалъ послѣ момента достиженія зеркала другимъ 7 метровъ, то $^1/_4$ длины трубы должна равняться 7 метрамъ, а вся труба 28 метрамъ. Если же свѣтъ, пройдя это разстояніе, оказался бы слабымъ, можно, пользуясь четырьмя вращающимися зеркалами, уменьшить длину трубы до 7 метровъ. А для жидкости, болѣе преломляющей, чѣмъ вода, напримѣръ, для сѣроуглерода достаточно было-бы, по расчету Arago, взять длину трубы $= 4{\cdot}3$ метра.

Arago указывалъ, что тѣхъ же результатовъ можно достигнуть, разсматривая не два, а только одно изображеніе во вращающемся зеркалѣ. По обѣимъ теоріямъ распространенія свѣта лучи различныхъ цвѣтовъ обладаютъ въ жидкости различною скоростью. По теоріи истеченія отношеніе этихъ скоростей равно отношенію синусовъ угловъ преломленія къ общему углу паденія, а по теоріи волненія отношеніе скоростей равно обратному отношенію синусовъ. Поэтому, если бросимъ на зеркало пучокъ бѣлыхъ лучей, прошедшихъ черезъ сѣроуглеродъ, то различные лучи достигнутъ зеркала въ различное время, отклонятся различно и дадутъ въ зеркалѣ изображеніе спектра. По расположенію при томъ же направленіи вращенія зеркала красной части спектра слѣва или справа отъ наблюдателя, можно заключить, представляетъ ли свѣтъ матерію или же волну.

Освѣщать Arago думалъ мгновеннымъ свѣтомъ—электрическою искрою—и такъ какъ нельзя угадать, при какомъ положеніи зеркала проскочитъ искра, то, чтобы увидѣть во вращающемся зеркалѣ это мгновенное изображеніе искры, Arago предполагалъ производить наблюденія не одному наблюдателю, а расположить нѣсколько человѣкъ съ трубами въ различныхъ мѣстахъ вокругъ зеркала.

Въ заключеніе своего доклада Arago заявилъ, что изложеніе опытовъ, при помощи которыхъ можно будетъ замѣтить и измѣрить скорость свѣта, не прибѣгая къ небеснымъ явленіямъ, онъ откладываетъ до слѣдующаго сообщенія.

Мы нарочно остановились на довольно подробномъ изложеніи проектовъ Arago, такъ какъ впослѣдствіи всѣ desiderata, высказанныя имъ, оказались осуществленными. Правда, осуществилъ ихъ не онъ самъ,—можетъ быть, потому, что, будучи глубокимъ мыслителемъ, онъ не былъ геніальнымъ экспериментаторомъ.

Проектъ Arago заинтересовалъ многихъ и у него завязалась обширная переписка съ различными учеными, предлагавшими многія усовершенствованія и измѣненія въ способѣ наблюденій.

Вскорѣ послѣ опубликованія своего доклада, Arago получилъ отъ Wheatstone'а письмо, въ которомъ тотъ указываетъ, что возможность примѣнить его способъ къ измѣренію скорости свѣта представлялась ему уже раньше, хотя онъ и не опубликовалъ этого. Еще въ 1833 г. у него былъ по этому поводу разговоръ съ Гершелемъ, а въ 1835 г. этотъ послѣдній прислалъ ему письмо, гдѣ упоминаетъ объ опытѣ, мысль о которомъ онъ подалъ ему тогда и въ которомъ свѣтъ долженъ былъ пройти сквозь слой воды въ милю длиною. Затрудненіе заключалось въ возможности получить достаточно прозрачную и одинаковой температуры милю воды, а также большой потери свѣта при этомъ. Arago замѣчаетъ по этому поводу: „Но такъ какъ эта мысль не была вовсе опубликована, то она должна была считаться для всѣхъ не существующею",—и прибавляетъ далѣе: „одно, что̀ въ концѣ концовъ вполнѣ ясно слѣдуетъ изъ прочитанныхъ отрывковъ,—это, что

эти два знаменитыхъ англійскихъ физика не имѣли ни малѣйшаго представленія о возможныхъ способахъ осуществленія опыта въ эпоху ихъ разговора“ [1]).

Но и послѣ появленія мемуара Arago, Wheatstone не занялся этимъ опытомъ, хотя и имѣлъ возможность это сдѣлать. Arago объясняетъ это такъ: „Вообще, отступаютъ передъ трудностями, когда дѣло идетъ о попыткѣ осуществить опытъ, указанный другимъ, и когда не знаютъ, какую часть успѣха согласится публика приписать вамъ“.

Bessel и независимо отъ него Silbermann предлагали Arago нѣкоторыя механическія видоизмѣненія его прибора, заключающіяся въ примѣненіи нѣсколькихъ вращающихся зеркалъ, насаженныхъ на общую ось и получающихъ свѣтъ одно отъ другого при посредствѣ нѣсколькихъ неподвижныхъ зеркалъ. При этомъ Bessel писалъ: „Хотя мой способъ кажется мнѣ болѣе простымъ, но такъ какъ онъ представляетъ лишь видоизмѣненіе Вашего, я не буду его пробовать: идея этого опыта принадлежитъ Вамъ; Вы имѣете возможность его осуществить,—слѣдовательно, и результатъ, какой бы онъ ни былъ, будетъ принадлежать Вамъ“.

Интересно, что среди писемъ Arago было письмо аббата Laborde'a [2]), предлагавшаго для опредѣленія скорости свѣта способъ, вполнѣ аналогичный способу, которымъ впослѣдствіи Fizeau опредѣлилъ впервые на землѣ скорость свѣта, но Arago не обратилъ вниманія на это весьма любопытное письмо.

Между тѣмъ Arago занялся выполненіемъ своего проекта.

Приготовленіе прибора взялъ на себя извѣстный механикъ Bréguet [3]). Приборъ былъ уже устроенъ съ тремя вращающимися зеркалами, когда Arago и Bréguet начали придумывать средства достигнуть тѣхъ же результатовъ съ однимъ зеркаломъ, такъ какъ при трехкратномъ отраженіи терялось очень много свѣта. Стараясь найти причину, мѣшавшую зеркалу вращаться скорѣе 1000 оборотовъ въ секунду, Bréguet взялъ одну ось, безъ зеркала, и достигъ 8000 оборотовъ. Это вселило въ нихъ увѣренность, что причина заключалась въ сопротивленіи воздуха. Тогда они устроили аппаратъ, въ которомъ зеркало вращалось въ безвоздушномъ пространствѣ. Но когда его привели въ дѣйствіе,

---

[1]) „Mais comme cette pensée n'avait reçu aucune publicité, elle était pour tout le monde comme non avenue... Une chose qui résulte au reste avec une entière évidence des extraits qu'on vient de lire c'est que les deux célébres physiciens anglais n'avaient nullement conçu des moyens d'expériences réalisables à l'époque de leur conversation“. *Note sur le système d'expériences proposé en 1838, pour prononcer définitivement entre la théorie des ondes et la théorie de l'émission.* Comptes Rendus des Séances de l'Acadèmie des Sciences, **30**, p. 489—495, 1850.

[2]) См. „*Moyen de mésurer avec plus de précision la vitesse de la lumière*“. Cosmos (Les Mondes), (2) 29, 363—366, 1872.

[3]) Не такъ далеко еще то время, когда слово „брегетъ“ было синонимомъ хронометра.

скорость вращенія оказалась даже меньшею, чѣмъ она была въ воздухѣ. „Этотъ случай", пишетъ Arago, „показалъ еще разъ справедливость пословицы: лучшее — врагъ хорошаго". Пришлось снова возвратиться къ тремъ зеркаламъ. Но въ это время Brégnet принялъ отъ правительства большіе заказы на телеграфные приборы, а Arago началъ терять зрѣніе, такъ что дѣло опредѣленія на опытѣ относительной скорости свѣта въ воздухѣ и водѣ значительно затормозилось.

Вскорѣ, однако, наступаетъ новая фаза въ исторіи этого вопроса—25-го іюня 1849 г. Fizeau читаетъ въ Парижской Академіи докладъ подъ заглавіемъ: „Sur une expérience rélative à la vitesse de propagation de la lumière".

7. Измѣреніе скорости свѣта Fizeau. Докладъ Fizeau „Объ опытѣ, относящемся къ скорости распространенія свѣта" производитъ на читателя странное впечатлѣніе, очень мѣтко охарактеризованное Newcomb'омъ: „Любопытно, что отчетъ автора о замѣчательномъ опытѣ, сдѣлавшемъ эпоху въ исторіи физическихъ наукъ, заключается въ предѣлахъ двухъ страницъ и оканчивается безъ какого-нибудь опредѣленнаго обсужденія результатовъ." Что же заключалось въ этой „короткой и скромной замѣткѣ" („note courte et modeste"), какъ ее назвалъ Cornu, если послѣ нея Академія назначила коммиссію, членами которой были выбраны Biot, Arago, Pouillet и Regnault, и которая затѣмъ рѣшила заказать приборъ большихъ размѣровъ для повторенія опытовъ Fizeau со всею возможною точностью? Что же заключалось въ нихъ, если за эти опыты Institut de France въ 1856 г. присудилъ Fizeau премію въ 30000 франковъ, выдаваемую разъ въ три года *за работу или открытіе, которыя, по мнѣнію пяти Академій Института, оказали наибольшую честь и услугу странѣ?*—Не болѣе и не менѣе, какъ первое опредѣленіе скорости свѣта на землѣ — по способу, вполнѣ отличному отъ схемы Arago.

Способъ этотъ по существу имѣетъ много общаго съ опытами Галилея и Accademia del Cimento. Въ этихъ опытахъ съ одной станціи посылается въ опредѣленный моментъ свѣтъ на вторую станцію,—и оттуда свѣтомъ же даютъ знать о томъ, что къ нимъ пришелъ свѣтъ. Fizeau же вмѣсто наблюдателя на второй станціи, пускающаго свѣтъ отъ своего источника свѣта къ первой станціи, помѣстилъ зеркало, которое возвращало бы на первую станцію свѣтъ, пришедшій отъ нея же,—и такимъ образомъ замѣнилъ непремѣнно и при томъ различно запаздывающаго своимъ отвѣтомъ человѣка немедленно отсылающимъ свѣтъ обратно физическимъ приборомъ. Для того, чтобы видѣть этотъ возвращающійся свѣтъ, Fizeau на пути поставилъ пластинку стекла подъ угломъ въ 45^0, изъ-за которой только часть свѣта отъ источника шла ко второй станціи, но благодаря которой за то часть обратнаго свѣта не попадала обратно къ источнику свѣта, а отбрасывалась въ сторону, гдѣ и могла быть наблюдаема.

Существенною же чертою метода Fizeau было примѣненіе

вращающагося зубчатаго колеса, которое давало перерывы въ освѣщенiи и перерывы въ возможности полученiя на станцiи отправленiя „свѣтового эхо“, какъ выразился Cornu,со второй станцiи. При малой быстротѣ вращенiя возвращающiйся свѣтъ успѣвалъ пройти между тѣми же зубцами, въ промежутокъ между которыми онъ вырвался,—при нѣкоторой же бо́льшей скорости обратный свѣтъ попадалъ на слѣдующiй зубецъ—и „свѣтовое эхо затухало“; при скорости, вдвое большей, свѣтъ приходилъ тогда, когда на мѣсто одного промежутка становится второй промежутокъ и т. д.

Замѣтимъ, что обыкновенно неправильно указываютъ, что Fizeau пускалъ на вторую станцiю пучокъ свѣта, сдѣланный параллельнымъ при помощи чечевицы. Такой способъ былъ бы пригоденъ лишь въ томъ случаѣ, еслибы источникъ свѣта былъ точкою; въ случаѣ же конечныхъ (хотя бы и малыхъ) размѣровъ источника свѣта при этомъ получалась большая потеря въ интенсивности, такъ какъ на большомъ разстоянiи (у Fizeau разстоянiе станцiй было $8\frac{1}{2}$ км.) изображенiе источника было бы весьма велико и освѣщенiе отражающей системы (чечевица и вогнутое зеркало) было бы очень мало. Въ дѣйствительности Fizeau *собиралъ* лучи на чечевицѣ отражающей трубы и получалъ обратно свѣтъ въ видѣ изображенiя этой чечевицы.

Изъ своихъ опытовъ Fizeau получилъ $315000\frac{\text{км.}}{\text{сек.}}$, — результатъ, который онъ считалъ лишь указанiемъ на пригодность своего способа.

(Окончанiе слѣдуетъ).

Атмосферный газъ.

Профессора W. Ramsay.

Переводъ съ французскаго.

(*Окончанiе* *).

II.

Чтобы получить эти элементы въ достаточномъ количествѣ, намъ снова пришлось продѣлать рядъ операцiй. Я опишу сначала процессъ, благодаря которому намъ удалось выдѣлить неонъ изъ воздуха, не прибѣгая къ приготовленiю аргона въ большомъ количествѣ.

*) См. № 234 „Вѣстника“.

Аппаратъ, которымъ мы пользовались для ожиженія воздуха, состоялъ изъ насоса Whitehead'а, доводившаго сжатіе воздуха до 180 атмосферъ, и прибора, обращавшаго его въ жидкость. Устройство послѣдняго основано на общеизвѣстномъ принципѣ: сжатый воздухъ выпускается черезъ клапанъ, помѣщенный внизу прибора; при этомъ утилизируется явленіе Joule'я—Thomson'а [1]); охлажденный уже воздухъ проходитъ вокругъ мѣднаго змѣевика, внутри котораго сжатый воздухъ идетъ къ клапану. Газъ, охлажденный расширеніемъ, поглощаетъ теплоту змѣевика; охлажденіе струи воздуха возрастаетъ прогрессивно и уже черезъ 8 минутъ, послѣ приведенія машины въ движеніе, начинаетъ течь жидкій воздухъ. Его собираютъ въ сосуды съ двойными стѣнками.

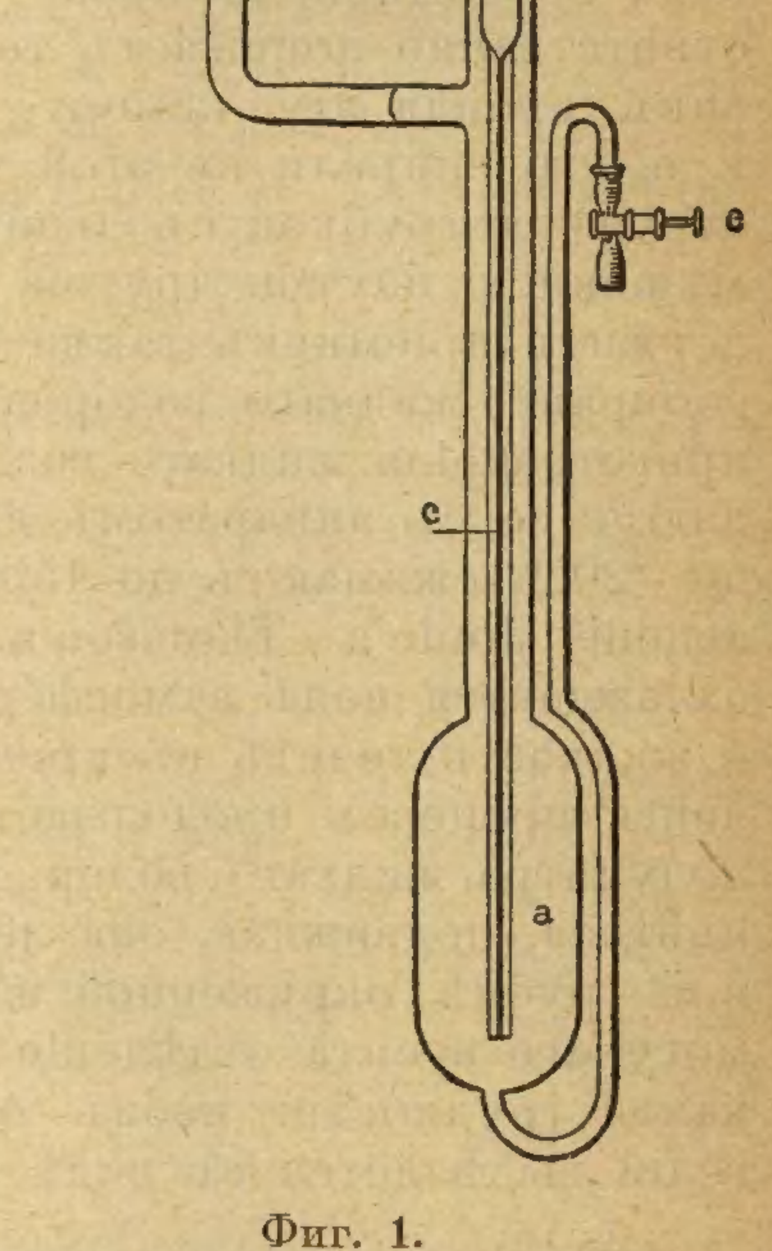
Ясно, что азотъ, точка кипѣнія котораго ниже, чѣмъ у кислорода, ожижается въ меньшемъ количествѣ, чѣмъ послѣдній; а газы еще болѣе легкіе—неонъ и гелій—подавно сохраняютъ еще въ это время свое газообразное состояніе. Мы воспользовались ожиженнымъ воздухомъ, кипящимъ подъ слабымъ давленіемъ, чтобы охладить ту часть воздуха, которая избѣжала ожиженія, и потому содержала главнымъ образомъ легкіе газы; эти газы ожижаются во вздутіи *a* (рис. 1). Собравъ около полулитра этихъ ожиженныхъ газовъ, мы уменьшили давленіе настолько, чтобы довести ихъ до кипѣнія; тогда мы открыли кранъ *b*, пропуская черезъ жидкость газы, наименѣе поддающіеся сгущенію. Здѣсь происходитъ нѣчто въ родѣ дробной перегонки. Первую четверть испарившагося газа мы собрали въ газометръ; оставшаяся же часть газа, какъ безполезная, проходила черезъ *c* въ пріемникъ, гдѣ сохранялся жидкій воздухъ для дальнѣйшихъ надобностей. Такимъ способомъ мы наполнили газометръ вмѣстимостью въ 180 литровъ смѣсью газовъ, содержавшею азотъ въ преобладающемъ количествѣ, кислородъ и другіе газы болѣе легкіе. Нужно было стало быть расщепить эту смѣсь.

---

[1]) Въ статьѣ *Mathias'а* „Приготовленіе ожиженныхъ газовъ и ихъ важнѣйшія примѣненія", помѣщенной въ №№ 323, 324, 326, 327 „Вѣстника", подробно объясненъ принципъ, о которомъ идетъ рѣчь. Въ частности роль явленія Joule'я выяснена въ примѣчаніи переводчика въ № 323 на стр. 242. Воспроизводимъ это примѣчаніе вновь.

Явленіе Joule'я и Thomson'а заключается въ слѣдующемъ: въ то время какъ *идеальный газъ* долженъ былъ бы при отсутствіи внѣшняго давленія расширяться безпредѣльно, *сохраняя свою температуру*, реальный газъ, расширяясь, теряетъ часть своей тепловой энергіи. Съ точки зрѣнія кинетической теоріи газовъ, явленіе Joule'я и Thomson'а объясняется тѣмъ, что при расширеніи молекулы должны затрачивать часть своей живой силы на преодолѣніе взаимнаго притяженія.

Чтобы выдѣлить кислородъ и азотъ, мы употребляли обычныя средства: мѣдь при температурѣ краснаго каленія и смѣсь магнезіи съ известью, по способу, рекомендованному Maquenne'омъ. Въ результатѣ у насъ осталось болѣе литра аргона; мы обратили его въ жидкость и, помощью методической дробной перегонки, мы отдѣлили отъ смѣси 50 куб. см. газа, давшаго спектръ неона.



Фиг. 1.

Отдѣленіе неона отъ аргона — дѣло, хотя и кропотливое, но не представляющее никакихъ затрудненій. Впрочемъ мы скоро убѣдились, что газъ, который мы принимали за неонъ, на дѣлѣ есть смѣсь неона и гелія. Въ самомъ дѣлѣ, на основаніи періодической системы элементовъ, неонъ долженъ былъ имѣть плотность, равную 10, тогда какъ плотность нашего газа, почти вовсе не содержавшаго въ себѣ аргона, не превышала 8,5. Намъ оставалось теперь очистить неонъ, отдѣливъ отъ него гелій въ газообразномъ состояніи.

Для этого есть одно средство — употребленіе жидкаго водорода. Ольшевскій первый обратилъ водородъ въ жидкость, но онъ получилъ его только въ состояніи кипѣнія. Dewar'у удалось приготовить жидкій водородъ въ достаточномъ количествѣ, но въ литературѣ нѣтъ описанія прибора, которымъ онъ пользовался. Наши собственные опыты надъ ожиженіемъ водорода доказали намъ, что аппаратъ Hampson'a будетъ пригоденъ для нашей цѣли, если измѣнить его конструкцію. Планъ новаго прибора былъ составленъ Travers'омъ, и нашъ механикъ Holding построилъ его.

Я не уклонюсь очень отъ темы, если скажу нѣсколько словъ объ этихъ опытахъ. Водородъ, добытый обычнымъ способомъ—изъ цинка и сѣрной кислоты—и очищенный ѣдкимъ натромъ, двухромокислымъ и азотнокислымъ серебромъ, проходитъ въ желѣзный газометръ, вода котораго предварительно насыщена водородомъ. Отсюда онъ идетъ въ насосъ Whitehead'a и въ сжатомъ состояніи проходитъ черезъ цилиндръ, наполненный безводнымъ ѣдкимъ кали, который очищаетъ водородъ отъ воды и углекислаго газа. Изъ цилиндра онъ входитъ въ мѣдную трубку, погруженную въ смѣсь твердой углекислоты и алкоголя, откуда проходитъ черезъ мѣдный змѣевикъ, окруженный жидкимъ воз-

духомъ. Змѣевикъ соединенъ съ аппаратомъ для ожиженія. Последній отличается отъ прибора Hampson'а: змѣевикъ проходитъ черезъ двѣ камеры — верхнюю, которая содержитъ жидкій воздухъ, кипящій подъ нормальнымъ давленіемъ, и нижнюю, въ которую впускается время отъ времени жидкій воздухъ при помощи крана, идущаго изъ верхней камеры; нижняя камера соединена съ помпой, которая уменьшаетъ давленіе до 10 см. и соотвѣтственно понижаетъ температуру кипящаго воздуха. Змѣевикъ, пройдя эту камеру, охлажденную до —205°, стягивается, т. е. его спирали въ этой части значительно гуще. Нижняя часть окружена трубкой съ двойными стѣнками, въ свою очередь, помѣщенною внутри другой, болѣе широкой трубки, которая содержитъ пріемникъ также съ двойными стѣнками, служащій для собиранія жидкаго водорода. Слѣдуетъ начинать операцію съ приготовленія жидкаго воздуха; затѣмъ очищаютъ помпу, соединяютъ ее съ аппаратомъ для ожиженія водорода и, охладивъ его до —205°, сжимаютъ до 150 атмосферъ, чтобы усилить дѣйствіе явленія Joule'я—Thomson'а. Газъ, пройдя черезъ нижній клапанъ, охлаждается подъ атмосфернымъ давленіемъ ниже точки кипѣнія, и жидкость течетъ въ пріемникъ. Когда всѣ приготовленія окончены, процессъ продолжается недолго: въ полчаса получается до полулитра жидкаго водорода. Какъ извѣстно, это жидкость безцвѣтная, подвижная, она легко сохраняется въ пустой посеребренной трубкѣ, окруженной жидкимъ воздухомъ. Съ помощью этого могучаго агента отдѣленіе неона отъ гелія не представляетъ никакой трудности: неонъ обращается въ бѣлое твердое тѣло, а гелій выдѣляется въ видѣ газа.

Отдѣленіе этихъ газовъ отъ болѣе плотной массы воздуха было дѣломъ, потребовавшимъ немало хлопотъ. При температурѣ жидкаго воздуха аргонъ остается газообразнымъ, тогда какъ криптонъ и неонъ уже ожижаются; но, разумѣется, когда въ распоряженіи находится малое количество рѣдкаго газа, стараются сберечь его весь. Поэтому аргонъ, отдѣленный помпой, не былъ выпущенъ въ атмосферу; мы многократно подвергали его ожиженію, чтобы получить весь криптонъ и ксенонъ, который въ немъ содержался. Упругость паровъ криптона равняется даже при —185° нѣсколькимъ миллим. и даже въ твердомъ состояніи этотъ газъ испаряется гораздо легче, чѣмъ ксенонъ; но полное отдѣленіе требуетъ многократнаго повторенія дробной перегонки. Достаточно сказать, что въ каждый пріемъ удавалось выдѣлить не болѣе $^1/_6$ или $^1/_8$ части наличнаго газа.

III.

Получивъ газы въ чистомъ видѣ, мы занялись опредѣленіемъ ихъ физическихъ свойствъ и, прежде всего, ихъ плотности. Въ нашемъ распоряженіи были всѣ газы, хотя и въ очень маломъ количествѣ. У насъ было около 20 куб. сант. неона, 10 сант.

криптона и 4 ксенона. Для взвѣшиванія ихъ мы пользовались вѣсами Oertling'а, чувствительность которыхъ превосходитъ $\frac{1}{20}$ миллиграмма. Сосуды съ газами содержали 30 и 7 куб. сант. Вѣсъ всего количества неона, которое было нами взвѣшено, равнялся 11 миллигр., криптона—15 миллигр. и ксенона—12 миллигр.

Плотности ихъ оказались:

неонъ	9,96
криптонъ	40,8
ксенонъ	64,0.

Отсюда получились ихъ атомные вѣса:

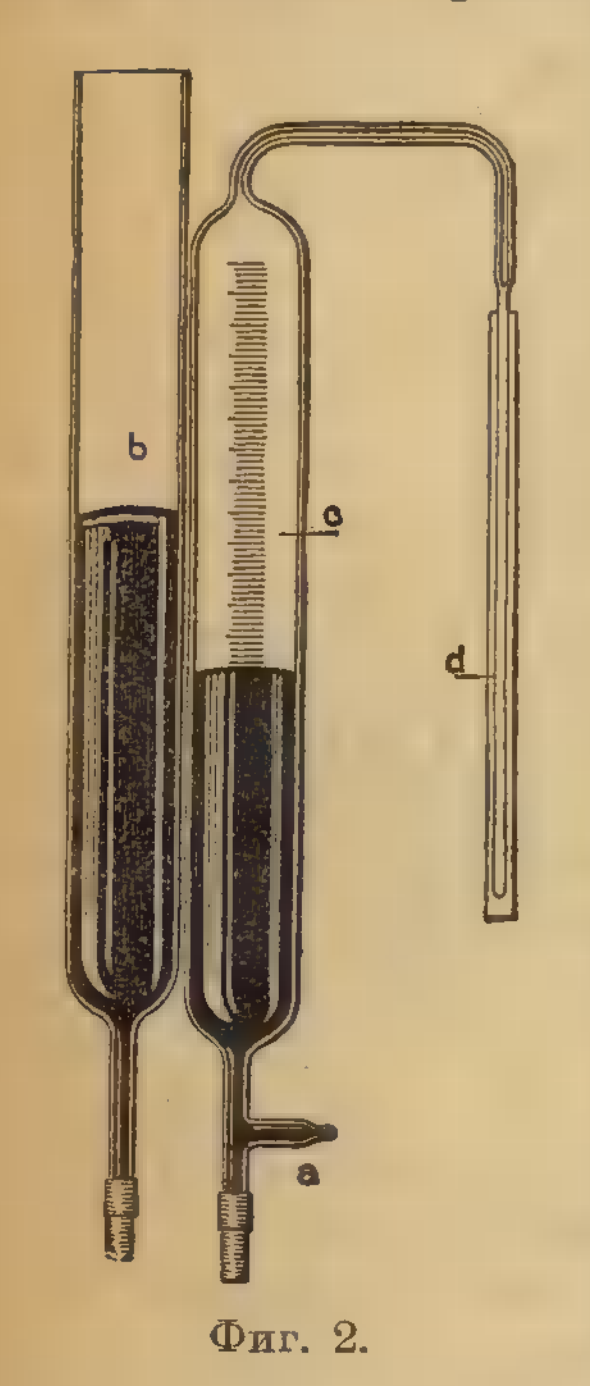
неонъ	19,92
криптонъ	81,6
ксенонъ	128,0.

Пользуясь такими малыми количествами, мы не могли опредѣлить теплоемкость чистыхъ газовъ; но многочисленные опыты, произведенные надъ пробами, еще нечистыми, дали результаты, которые доказываютъ одноатомность атмосферныхъ газовъ. Поэтому-то мы и получили ихъ атомные вѣса путемъ удваиванія плотностей.

Съ перваго же взгляда можно замѣтить, что эти элементы образуютъ рядъ, подобный ряду щелочныхъ металловъ; цифры эти показываютъ, что газы воздуха должны занимать мѣсто между галоидами, съ одной стороны, и металлами изъ ряда литія, съ другой. Таблица, приведенная выше, поясняетъ это. Новые элементы ни положительны, ни отрицательны; они не даютъ достаточно характерныхъ соединеній; я, по крайней мѣрѣ, не думаю, чтобы слѣдовало придавать слишкомъ большое значеніе соединеніямъ (если они только существуютъ), которыя можно получить при прохожденіи газовъ между электродами изъ платины или аллюминія, или же подвергая смѣсь газовъ съ бензиномъ (или другими сходными углеводородами) дѣйствію электрическаго истеченія, какъ дѣлалъ это Berthelot. Я склоненъ думать, что эти тѣла скорѣе подходятъ подъ твердые растворы, чѣмъ подъ химическія соединенія.

Какъ показалъ Lothar Meyer, другія свойства элементовъ должны зависѣть отъ ихъ мѣста въ періодической системѣ элементовъ. Мы задались цѣлью сравнить ихъ удѣльные атомные объемы, преломляемость, упругость паровъ, сжимаемость въ газообразномъ состояніи,—словомъ, изучить ихъ свойства, обусловливаемыя періодическимъ закономъ. Опишемъ наши изслѣдованія—каждое въ отдѣльности.

Прежде всего мы занялись измѣреніемъ атомныхъ объемовъ. Изслѣдуемый газъ, количество котораго было опредѣлено въ прокалибрированной трубкѣ *c* (см. рис. 2), былъ сжатъ въ капиллярной трубкѣ *d*, опущенной въ жидкость, охлажденную до температуры, близкой къ точкѣ кипѣнія жидкаго газа при нормальномъ давленіи. Затѣмъ наблюдался объемъ жидкости и сжатіе объема газа. По величинѣ сжатія можно было судить о вѣсѣ; этотъ пріемъ былъ пригоденъ для опредѣленія плотности жидкости, взятой даже въ весьма маломъ количествѣ. Мы должны сознаться, что намъ не удалось обратить въ жидкость ни неона, ни гелія; зато мы добились хорошихъ результатовъ съ аргономъ, криптономъ и ксенономъ.



Фиг. 2.

Преломляемость всѣхъ этихъ газовъ мы измѣряли по способу, который примѣнилъ лордъ Rayleigh для гелія и аргона. Свѣтъ отъ лампы, пропущенный сквозь очень узкую щель и затѣмъ черезъ чечевицу, дѣлающую его лучи параллельными, проходитъ черезъ двѣ трубки, расположенныя одна возлѣ другой. Въ то же время нѣкоторое количество свѣта отъ лампы проходитъ надъ трубками. Эта послѣдняя часть, пройдя черезъ двѣ довольно широкія щели, собирается сначала обыкновенной чечевицей, а потомъ чечевицей цилиндрической, и, наконецъ, поступаетъ въ глазъ наблюдателя. Этотъ свѣтъ, миновавшій параллельно расположенныя трубки, образуетъ въ опредѣленномъ мѣстѣ каемки, которыя служатъ для сравненія съ каемками, получающимися отъ лучей, прошедшихъ черезъ трубки съ изслѣдуемыми газами. Эти трубки соединены съ манометромъ, которымъ можно регулировать давленіе газа въ трубкахъ. Представимъ себѣ, напримѣръ, что сперва обѣ трубки содержатъ атмосферный воздухъ; чтобы совмѣстить нижнія каемки съ верхними, служащими для сравненія, нужно уменьшить или увеличить давленіе въ двухъ трубкахъ до одной и той же величины. Впустимъ въ одну изъ трубокъ другой газъ; чтобы теперь совмѣстить полоски, нужно сдѣлать давленіе въ обѣихъ трубкахъ различнымъ. Для газа, имѣющаго преломляемость меньшую, чѣмъ у воздуха, слѣдуетъ давленіе увеличить, чтобы уплотнить газъ и довести его преломляемость до преломляемости воздуха. Такимъ образомъ, степень преломляемости находится въ обратной зависимости отъ давленія, которому газъ подвергнутъ.

Мы не были въ состояніи получить температуру между точками кипѣнія аргона (—186,1°) и атмосфернаго газа, чтобы измѣрить упругости паровъ аргона. Поэтому мы воспользовались

искусственнымъ пріемомъ, описаннымъ Sydney'емъ Joung'омъ, моимъ товарищемъ по работѣ въ Бристолѣ, и мною, — пріемомъ, при помощи котораго можно вычислить всю кривую упругостей паровъ, если извѣстны двѣ или нѣсколько точекъ этой кривой. Методъ очень простъ, и хотя я его уже описывалъ, можно напомнить его сущность въ нѣсколькихъ словахъ. Измѣривъ упругость паровъ газа, напр. аргона, при двухъ опредѣленныхъ температурахъ, возьмемъ отношенія между этими температурами, выраженными по абсолютной школѣ, и температурами при тѣхъ же давленіяхъ другой какой-нибудь жидкости, напр. воды. Нанесемъ эти данныя на діаграмму, откладывая на оси абсциссъ температуры воды, а на оси ординатъ соотвѣтствующія отношенія, и соединимъ точки прямою линіей. Найдя затѣмъ въ таблицахъ температуры паровъ воды, которыя соотвѣтствуютъ опредѣленнымъ давленіямъ: въ 100, 200, 500, 1000 миллим. и т. д., мы получимъ на осяхъ координатъ отношенія, соотвѣтствующія этимъ температурамъ, а слѣдовательно и означеннымъ давленіямъ; отсюда очень простымъ вычисленіемъ мы найдемъ температуру кипѣнія аргона подъ даннымъ давленіемъ. Этотъ методъ, точность котораго была доказана сотней примѣровъ, служитъ для полученія полной кривой давленія пара при разныхъ температурахъ. Можно даже узнать критическую температуру, пользуясь величиной критическаго давленія, или наоборотъ.

Этимъ способомъ мы опредѣлили упругости паровъ трехъ новыхъ газовъ: аргона, криптона и ксенона. Что касается до неона, то даже при самой низкой температурѣ, которую мы получили помощью твердаго азота подъ очень слабымъ давленіемъ, мы не могли его обратить въ жидкость; даже подъ давленіемъ, достаточно высокимъ для полученія жидкаго состоянія—если оно вообще существуетъ—критическая температура неона во всякомъ случаѣ ниже 63° по абсолютной шкалѣ. Для гелія она еще ниже.

Совсѣмъ недавно Travers вмѣстѣ съ г. Jaquerod'омъ изъ Женевы, который много работалъ въ моей лабораторіи, сдѣлали рядъ попытокъ для ожиженія гелія. Приготовивъ около 400 куб. сант. жидкаго водорода, эти ученые заставили его кипѣть подъ давленіемъ въ 100 милл. ртутнаго столба. Точка кипѣнія водорода, равная подъ атмосфернымъ давленіемъ около 20°,4 абсолютной температуры, перешла въ точку затвердѣванія; термометръ изъ гелія при уменьшеніи давленія показывалъ 14° для точки испаренія твердаго водорода подъ самымъ меньшимъ давленіемъ, какое можно получить насосомъ Fleuss'а. Гелій, сжатый до 40 атмосферъ, не обнаружилъ и слѣда ожиженія.

До сихъ поръ еще не удалось найти средства, способнаго доставить температуру, заключающуюся между температурой точки кипѣнія водорода подъ обыкновеннымъ давленіемъ и точкой кипѣнія азота подъ очень слабымъ давленіемъ; такимъ образомъ, точка кипѣнія неона остается пока неизвѣстной. Все, что

можно сказать, это то, что упругость его пара при 20⁰,4 абсолютной шкалы приблизительно равняется 12 миллим.

Мы приводимъ результаты опредѣленія у новыхъ газовъ температуры кипѣнія, плавленія и критическихъ точекъ:

	Гелій	Неонъ	Аргонъ	Криптонъ	Ксенонъ
Точка кипѣнія . . .	„	„	—186⁰,1	—151⁰,7	—100⁰,1
Точка плавленія . .	„	„	—187,9	—169,0	—140,0
Критическая точка .	„	„	—117,4	— 62,5	+14,75
Критическое давленіе въ метрахъ ртутнаго столба	„	„	40,2	41,24	43,5.

Ксенонъ остается жидкостью, пока трубка, наполненная имъ, погружена въ воду подъ довольно высокимъ давленіемъ. Это — подвижная и безцвѣтная жидкость, какъ и прочія; при дальнѣйшемъ охлажденіи всѣ эти газы образуютъ твердыя тѣла бѣлаго цвѣта.

Мы построили кривыя, которыя показываютъ свойства этихъ элементовъ, по сравненію съ другими, помѣщенными въ періодической системѣ элементовъ; достаточно сказать, что удѣльные объемы, точки кипѣнія, величины преломленія измѣняются въ прогрессіи при переходѣ отъ одного элемента къ другому; этого, конечно, и слѣдовало ожидать. Можно считать за вполнѣ доказанное, что новые элементы образуютъ отдѣльную группу, объединяющую двѣ столь несходныя группы, каковы галоиды и металлы.

IV.

Въ изслѣдованіяхъ, которыя касаются всей группы элементовъ, невозможно ограничиться работой одного лица, въ виду большого числа вопросовъ, возникающихъ при детальномъ разсмотрѣніи предмета. Въ продолженіе двухъ послѣднихъ лѣтъ, Cyril Baly не переставалъ производить изслѣдованія спектровъ этихъ газовъ. Насколько сложны эти изслѣдованія, можно судить изъ того, что каждый элементъ образуетъ два спектра: одинъ при обыкновенномъ наполненіи газомъ Плюкеровской трубки, а другой при употребленіи лейденской банки; спектръ одного только ксенона содержитъ не менѣе 3500 линій. Baly получилъ множество прекрасныхъ фотографическихъ снимковъ при помощи сѣтки, устроенной Braisher'омъ въ Alleghany. Отчетъ объ этихъ изслѣдованіяхъ еще не опубликованъ, но сами они почти уже закончены.

Въ заключеніе позволю себѣ обратить вниманіе на замѣчательное совпаденіе линій въ спектрахъ сѣвернаго сіянія и криптона. Дѣло заключается въ слѣдующемъ: Paulsen измѣрилъ приблизительно положенія 22 линій въ спектрѣ сѣвернаго сіянія; оказалось, что каждая линія довольно точно соотвѣтствуетъ линіямъ криптона. Недавно Sykera опубликовалъ результаты болѣе тщательныхъ изслѣдованій 8 линій; всѣ онѣ очень точно совпадаютъ съ линіями, найденными Baly; напр., самой яркой линіи

въ спектрѣ криптона—зеленой, длина волны которой равняется 5.570,50, соотвѣтствуетъ по вычисленіямъ Sykera линія съ длиной волны въ 5.570. Если принять, что въ спектрѣ сѣвернаго сіянія мы видимъ спектръ криптона, то долженъ возникнуть рядъ вопросовъ. Почему такъ замѣтенъ спектръ криптона, несмотря на большую плотность этого газа и высоту сѣвернаго сіянія по меньшей мѣрѣ въ 100—200 килом. надъ поверхностью земли? Почему не видны спектры другихъ атмосферныхъ газовъ: азота, кислорода и аргона, которые находятся въ воздухѣ въ гораздо большемъ количествѣ? Почему не замѣтно въ спектрѣ присутствія гелія и неона, дающихъ очень яркіе спектры?

Я не могу дать удовлетворительныхъ отвѣтовъ на всѣ эти вопросы, но все же я укажу на нѣкоторые свои опыты, свидѣтельствующіе о томъ, насколько замѣтенъ спектръ криптона, находящагося въ смѣси съ другими газами. Въ то время, какъ смѣсь 10% гелія и 90% водорода, помѣщенная въ Плюкеровскую трубку, не даетъ уже спектра гелія, одна часть водорода въ 100.000 частяхъ гелія еще сохраняетъ свой спектръ. Спектръ аргона замѣтенъ въ смѣси, содержащей одну часть этого газа и 1500 частей гелія; спектръ азота можно различить въ смѣси этого газа съ 1200 объемами аргона. А зеленая линія криптона еще видна, когда этотъ газъ заключенъ въ 3 милл. разъ большемъ количествѣ гелія; въ этомъ случаѣ давленіе криптона не превосходитъ одной двадцатимилліонной части атмосфернаго. Въ смѣси съ кислородомъ криптонъ даетъ знать о своемъ присутствіи, когда его давленіе представляетъ $\frac{1}{1.250.000}$ долю давленія, еще меньшаго атмосфернаго. Зеленая линія криптона еще видна при такихъ условіяхъ, при которыхъ спектры другихъ атмосферныхъ газовъ уже совершенно исчезаютъ — или оттого, что они бываютъ смѣшаны съ большимъ количествомъ другихъ газовъ, или вслѣдствіе уменьшенія давленія. Примѣняя извѣстную формулу, опредѣляющую зависимость между высотою надъ поверхностью земли и давленіемъ тамъ атмосфернаго воздуха, получимъ высоту, на которой давленіе будетъ настолько слабымъ, что спектры ни одного изъ атмосферныхъ газовъ кромѣ криптона, не будутъ уже замѣтны,

$$h = 18382(\log 760 - \log 0,000035) \text{ метр.} = 153,25 \text{ килом..} —$$

результаты достаточно близкіе къ дѣйствительности.

Я указалъ на то, почему линіи криптона особенно замѣтны въ спектрѣ воздуха; но тутъ возникаетъ другой вопросъ: Почему спектръ газа, такого тяжелаго, какъ криптонъ, замѣтенъ въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы, тогда какъ спектры другихъ газовъ остаются незамѣтными? Если газы болѣе легкіе стремятся подняться въ высшіе слои атмосферы, то скорѣе слѣдовало бы ожидать въ сѣверномъ сіяніи присутствія спектровъ неона и гелія. Я далекъ отъ мысли считать этотъ вопросъ неразрѣшимымъ, но пока я не въ состояніи его себѣ объяснить.

Новые опыты съ жидкимъ воздухомъ.

Въ августовской книжкѣ „Annales de Chémie et de physique“ помѣщена интересная статья d'Arsonval'я о жидкомъ воздухѣ. Считаемъ нелишнимъ познакомить читателей съ наиболѣе любопытными изъ тѣхъ выводовъ, къ которымъ привели его многочисленные опыты.

Въ жидкомъ воздухѣ, какъ и въ атмосферномъ, содержатся азотъ, кислородъ, а также угольная кислота и тѣ новые газы, свѣдѣніями о которыхъ мы всецѣло обязаны *Rayleigh'ю* и *Ramsay'ю* *). Но жидкій воздухъ гораздо богаче кислородомъ, чѣмъ атмосферный, такъ какъ въ моментъ ожиженія значительное количество азота испаряется. Плотность жидкаго кислорода при температурѣ его кипѣнія 1,12, плотность же азота при соотвѣтствующихъ условіяхъ 0,88; вслѣдствіе этого, плотность жидкаго воздуха, содержащаго равные объемы азота и кислорода, равна плотности воды. Зная это, чрезвычайно легко узнать содержаніе главныхъ составныхъ частей въ ожиженномъ воздухѣ. Пусть погруженный въ него ареометръ показываетъ плотность 0,96: это значитъ, что литръ жидкаго воздуха вѣситъ 960 граммовъ. Пусть, далѣе, въ 1 литрѣ жидкаго воздуха содержится x литра кислорода и y литра азота, гдѣ x и y правильныя дроби такого рода, что

$$x+y=1 \quad . \ . \ . \ . \ (1)$$

Тогда, очевидно, имѣетъ мѣсто такое уравненіе:

$$1{,}12x+0{,}88y=0{,}96 \quad . \ . \ . \ . \ (2)$$

Этихъ двухъ уравненій достаточно для опредѣленія x и y. Выражая полученные результаты въ процентахъ, *d'Arsonval* нашелъ, что имѣвшійся у него жидкій воздухъ содержалъ:

	по объему	по вѣсу
кислорода	33,7%	38,9%
азота	66,3%	61,1%.

Жидкій воздухъ при —191°, температурѣ его кипѣнія, представляетъ собой мутную жидкость, такъ какъ содержитъ кристаллы угольной кислоты; но стоитъ пропустить его чрезъ бумажный фильтръ, какъ угольная кислота осядетъ на немъ въ видѣ снѣга, и жидкость дѣлается вполнѣ прозрачной. Жидкій воздухъ тѣмъ безцвѣтнѣе, чѣмъ болѣе въ немъ азоту; кислородъ, наоборотъ, придаетъ ему болѣе или менѣе голубоватый оттѣнокъ.

Низкая температура, при которой получается жидкій воздухъ, оказываетъ сильное вліяніе на свойства многихъ тѣлъ.

*) См. предыдущую статью.

Такъ, каучукъ теряетъ свою упругость и становится твердымъ, какъ стекло; легко истолочь въ порошокъ столь упругія тѣла, какъ пробку или мясо, если только предварительно подвергнуть ихъ дѣйствію жидкаго воздуха. Наоборотъ, упругость желѣзной проволоки отъ жидкаго воздуха возрастаетъ, что легко можетъ быть иллюстрировано слѣдующимъ опытомъ. Къ перекладинѣ подвѣшиваемъ на крючкѣ желѣзную проволоку, для разрыва которой достаточно, напримѣръ, при обыкновенныхъ условіяхъ груза въ 1 килограммъ. Если теперь эту самую проволоку охладить, окруживъ ее трубкой съ жидкимъ воздухомъ, то можно къ ней смѣло подвѣсить грузъ въ 3—4 килограмма; лишь нагрѣвшись до температуры окружающей среды, проволока порвется.

Другое любопытное явленіе, имѣющее мѣсто при столь низкихъ температурахъ, это измѣненіе цвѣта тѣлъ: окрашенная двуіодистой ртутью въ красный цвѣтъ бумага, будучи погружена въ жидкій воздухъ, становится желтой.

Даже химическое сродство оказывается свойствомъ, исчезающимъ у многихъ тѣлъ при низкихъ температурахъ: можно безнаказанно вводить въ жидкій воздухъ столь легко окисляющіяся вещества, какъ калій или фосфоръ, не получая при этомъ никакой реакціи. Но если эту реакцію чѣмъ-либо вызвать, то она будетъ продолжаться, сопровождаясь выдѣленіемъ огромнаго количества тепла. Этимъ послѣднимъ обстоятельствомъ можно воспользоваться для полученія высокихъ температуръ и даже для приготовленія взрывчатыхъ веществъ. Дѣлались попытки, правда, не вполнѣ удачныя, получить явленіе, аналогичное электрической дугѣ, впуская жидкій воздухъ въ смѣсь угля и извести.

Но особенно цѣнно то обстоятельство, что низкія температуры даютъ намъ возможность производить дробную перегонку различныхъ газовъ не только новымъ, но и чрезвычайно простымъ способомъ. Нуждаясь для своихъ опытовъ въ большомъ количествѣ кислорода, *d'Arsonval* получалъ его изъ свѣтильнаго газа. Послѣдній содержитъ около 50 объемныхъ частей кислорода, 45—48 частей метана, небольшое количество окиси углерода, еще меньшее количество угольной кислоты и пары различныхъ углеводородовъ. Пропуская свѣтильный газъ чрезъ трубку, погруженную въ сосудъ съ жидкимъ воздухомъ, *d'Arsonval* получалъ чистый кислородъ, такъ какъ всѣ прочія составныя части сгущались въ жидкости или даже въ твердыя тѣла.—Еще оригинальнѣе другой способъ полученія кислорода, основанный на неодинаковыхъ магнитныхъ свойствахъ главныхъ составныхъ частей воздуха. Если къ жидкому воздуху поднести магнитъ, то оказывается, что кислородъ, въ противоположность азоту, притягивается имъ, а это даетъ возможность отдѣлять кислородъ отъ азота, подобно тому какъ при помощи того же магнита отдѣляютъ желѣзныя опилки отъ мѣдныхъ.

Для измѣренія низкихъ температуръ обыкновенно употребляется термоэлектрическій столбикъ съ гальванометро

D'Arsonval же, освобождая нефть, путемъ послѣдовательныхъ и все болѣе и болѣе интенсивныхъ охлажденій, отъ примѣсей, получилъ ее въ такомъ чистомъ видѣ, что изъ нея онъ устроилъ *нефтяной термометръ*, который не замерзалъ при—190° и годился, слѣдовательно, для измѣренія довольно низкихъ температуръ.

Behn въ Германіи, занимавшійся вопросомъ о вліяніи низкихъ температуръ на удѣльную теплоту металловъ, нашелъ, что, по мѣрѣ приближенія къ температурѣ абсолютнаго нуля, удѣльная теплота все уменьшается и уменьшается. *D'Arsonval* изслѣдовалъ удѣльную теплоту воздуха при различныхъ температурахъ и давленіяхъ. При—100°, напримѣръ, удѣльная теплота выражалась числами, весьма разнившимися другъ отъ друга въ зависимости отъ того, подъ какимъ давленіемъ находился воздухъ: такъ, при давленіи въ 75 атмосферъ удѣльная теплота воздуха оказалась вчетверо больше, чѣмъ при давленіи въ 10 атмосферъ. Отсюда видно, какъ мы далеки отъ истины, вычисляя работу, которую нужно затратить, чтобы понизить температуру воздуха до критической, въ предположеніи, что удѣльная теплота его есть величина постоянная.

Замѣтимъ, наконецъ, что и электрическое сопротивленіе тѣлъ съ пониженіемъ ихъ температуры значительно ослабляется въ проводникахъ. Это ослабленіе, непостоянное не только для всѣхъ металловъ, но и для каждаго изъ нихъ, вообще говоря, тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ химически чище металлъ, изъ котораго сдѣланъ проводникъ. *D'Arsonval* бралъ мѣдную бобину съ опредѣленнымъ при обыкновенныхъ условіяхъ сопротивленіемъ, заряженную помѣщеннымъ внутрь ея аккумуляторомъ. Когда эта бобина помѣщалась въ жидкій воздухъ, то стрѣлка гальванометра немедленно показывала усиленіе тока, что, при неизмѣненіи электродвижущей силы, явно обнаруживало уменьшеніе сопротивленія. Согласно послѣднимъ работамъ *Dewar'a*, это сопротивленіе постепенно падаетъ по мѣрѣ удаленія отъ 0°; но, когда доходятъ до —250°, это паденіе сопротивленія съ пониженіемъ температуры значительно ослабляется, откуда можно заключить, что и при температурѣ абсолютнаго нуля тѣла не абсолютно проводимы, а представляютъ еще въ извѣстной степени сопротивленіе теченію электричества.

А. В.

Тріангуляція группы Гіадъ.

Въ звѣздной группѣ Гіадъ (въ созвѣздіи Тельца) обнару-
...ся рѣзко бросающееся въ глаза однообразіе собственнаго
... членовъ. Такъ, у громаднаго большинства прямое
...увеличивается въ среднемъ около 0ˢ.005 въ годъ, скло-
...пается на 0″.02 (приблизительно). Принимая во вни-
...ую яркость этихъ звѣздъ и большое угловое раз-

стояніе между ними, съ большою вѣроятностью можно предполагать близость къ намъ этой группы. Это обстоятельство дѣлаетъ ее интереснѣйшимъ объектомъ наблюденій съ цѣлью выяснить (поступательное) движеніе солнечной системы, отраженіемъ котораго является, вѣроятно, „собственное“ движеніе звѣздъ.

(Подобное же согласіе въ собственномъ движеніи у большинства звѣздъ замѣчается и въ Плеядахъ, въ томъ же созвѣздіи. Въ тридцатыхъ годахъ Бессель въ Кенигсбергѣ измѣрилъ Плеяды, а недавно Элькинъ повторилъ эти измѣренія и пришелъ ко многимъ интереснымъ выводамъ).

Въ концѣ сентября нынѣшняго (1902) года Карлъ Вирцъ (Wirtz) опубликовалъ свою интересную работу „Тріангуляція группы Гіадъ“ *). Тріангуляція эта принципіально ничѣмъ не отличается отъ земной тріангуляціи. Выбираются извѣстныя точки, а опредѣляемыя соединяютъ съ ними помощью треугольниковъ и вычисляютъ нужныя соотношенія.

Въ данномъ случаѣ предметомъ наблюденій послужили 69 звѣздъ группы Гіадъ. Изъ нихъ 18 приняты за основныя и ихъ прямое восхожденіе и склоненіе точнѣйшимъ образомъ опредѣлилъ меридіаннымъ кругомъ въ Боннѣ профессоръ Кюстнеръ. Вирцъ же, тоже въ Боннѣ, началъ съ помощью геліометра измѣрять разстояніе между звѣздами. Область измѣреній не переходила 20-ти квадратныхъ градусовъ. Изъ упомянутыхъ выше наблюденій 18-ти звѣздъ построена сѣть „перваго разряда“, т. е. основная.

Взаимныя же разстоянія этихъ звѣздъ, измѣренныя Вирцомъ, послужили для дальнѣйшей обработки его наблюденій.

Имѣя такую сѣть, т. е., въ сущности, положеніе основныхъ звѣздъ, теперь уже можно, измѣряя разстояніе любой (не основной) звѣзды отъ трехъ (какъ принято) основныхъ ближайшихъ, вычислить положеніе, т. е. прямое восхожденіе и склоненіе этой звѣзды. Эти измѣренія, выраженныя графически, даютъ вторую сѣть („второго разряда“).

Интересно, между прочимъ, для характеристики современной точности астрономическихъ наблюденій и вышеуказанныхъ наблюдателей въ частности, привести разности между разстояніями звѣздъ, полученными меридіаннымъ кругомъ и съ помощью геліометра.

Мерид. кругъ минусъ геліометръ

M—H=

+0″.53	—0″.44	+0″.01
+0 .72	+0 .13	+0 .13
—0 .69	+0 .70	+1 .11
+0 .09	—0 .54	+1 .01

*) „Astronomische Nachrichten“, № 3818—19.

+0.71	+0.19	+0.51
−0.35	−0.84	+0.27
+0.83	0.13	−0.28
−0.65	−0.05	+0.40
−0.86	+0.01	+0.48
−0.10	0.53	+1.13.

Итакъ, была составлена указаннымъ образомъ сѣть второго разряда. Мы не приводимъ формулъ, посредствомъ которыхъ, на основаніи основныхъ положеній и измѣренныхъ разстояній, вычисляются положенія опредѣленныхъ звѣздъ.

Въ результатѣ получился каталогъ изъ 69 звѣздъ весьма большой точности.

Естественно возникаетъ вопросъ: почему же выбрано только 69 звѣздъ, тогда какъ въ Гіадахъ ихъ значительно больше? На это Вирцъ отвѣчаетъ, что этотъ каталогъ до извѣстной степени основной, по его словамъ, „скелетъ", къ которому предполагается отнести положенія остальныхъ звѣздъ, послѣ того какъ будутъ окончены измѣренія фотографическихъ пластинокъ, на которыхъ онѣ сняты отчасти имъ самимъ, отчасти профессоромъ Вольфомъ. Это продолженіе работы будетъ, конечно, весьма интересно видѣть. Не менѣе важно для расширенія нашихъ свѣдѣній въ указанномъ направленіи повтореніе этой работы черезъ достаточное число лѣтъ.

Вл. Сребрянскій.

НАУЧНАЯ ХРОНИКА.

Городъ, отапливаемый электричествомъ. Въ виду существованія недалеко отъ швейцарскаго курорта Давоса двухъ рѣкъ съ значительнымъ паденіемъ, явилась мысль устроить для всего города электрическое отопленіе. Для осуществленія этой идеи фирма Аліотъ въ Базелѣ предприняла интересное изслѣдованіе по вопросу о количествѣ энергіи, потребной для отопленія различныхъ зданій города. Для этого измѣрено было количество топлива, потребляемаго въ Давосѣ въ теченіе года, и количество тепла, развиваемое имъ, перечислено на механическую энергію. Оказалось, что необходимо въ день (зимою):

для отопленія комнатъ	185000	л. с.—ч.
„ „ кухонъ	53600	„ „
„ „ булочныхъ	9550	„ „
„ „ бань	5000	„ „
„ „ прачешныхъ	15000	„ „
Итого	268150	л. с.—ч.

Итакъ, въ теченіе 1 часа нужно доставить 11200 л. с. При томъ, расходъ энергіи на отопленіе кухонъ оцѣненъ слишкомъ высоко, судя по даннымъ, полученнымъ ресторанномъ Феріа на

Парижской выставкѣ 1900 г., отоплявшимся электричествомъ. Если принять во вниманіе эту поправку, то останется только 9500 л. с. въ часъ. Для того, чтобы получить требуемую энергію, предполагается устроить паденіе воды на 304 м. изъ рѣкъ Ландвассеръ и Альбула въ Филизурѣ на разстояніи 20 клм. отъ Давоса. Средняя мощность, какой возможно достигнуть, будетъ 24960 л. с.; минимальная—11350 л. с. Такъ какъ при равномѣрномъ потребленіи потребуется 9500 л. с., то даже при наихудшихъ условіяхъ останется запасъ въ 1850 л. с., т. е. 19% необходимой энергіи. Напоръ воды будетъ достигнутъ постройкою двухъ каналовъ въ 10 клм. каждый, отводящихъ воды изъ вышеназванныхъ рѣкъ къ общему резервуару. Изъ резервуара пойдутъ отдѣльныя для каждой турбины трубы длиною около 1 клм. Центральная станція расчитана, для начала, на 5 турбинъ по 3000 л. с. каждая. Къ каждой турбинѣ присоединены два трехфазныхъ альтернатора по 1500 л. с. каждый, соединенныхъ послѣдовательно. Число оборотовъ 450, напряженіе 8000 вольтъ для каждаго альтернатора при 75 періодахъ, а всего 16000 вольтъ. Такое напряженіе избрано для избѣжанія трудностей изоляціи. Присоединеніе двухъ машинъ къ каждой турбинѣ вызвано невозможностью перевозки частей большой машины въ гористой мѣстности. Число турбинъ предполагается увеличить впослѣдствіи до 8. Кромѣ того, будутъ поставлены двѣ турбины по 150 л. с. для приведенія въ движеніе возбудителей.

Изъ центральной станціи поведутъ въ городъ два кабеля (состоящихъ изъ трехъ проводниковъ по 150 мм.) къ 40 трансформаторамъ по 300 кв., распредѣленнымъ на четырехъ станціяхъ. Эти трансформаторы будутъ перерабатывать токъ на 3000 вольтъ, домовые трансформаторы будутъ понижать напряженіе до требуемыхъ размѣровъ. Такъ какъ расходы по устройству предполагаются въ 8.500 000 фр. и ежегодные расходы по аммортизаціи капитала, эксплоатаціи и т. д. въ 829,528 фр., то при годовомъ потребленіи 25,000 000 кило въ часъ энергіи одинъ квт.-ч. обойдется въ 3,3 сант. Если подсчитать стоимость будущаго электрическаго отопленія, то окажется, что оно обойдется нѣсколько дороже отопленія углемъ. Но оно представляетъ столько удобствъ, особенно для курорта, что, навѣрное, скоро вытѣснитъ уголь.

(„Электричество“).

ЗАДАЧИ ДЛЯ УЧАЩИХСЯ.

Рѣшенія всѣхъ задачъ, предложенныхъ въ текущемъ семестрѣ, будутъ помѣщены въ слѣдующемъ семестрѣ.

№ 280 (4 сер.). Данъ уголъ BAC и точка D. На сторонахъ угла найти по точкѣ X и $У$ такъ, чтобы отрѣзокъ $XУ$ былъ даннаго направленія и разность угловъ ADX и $ADУ$ была данной величины.

И. Александровъ (Тамбовъ).

№ 281 (4 сер.). Какого вида треугольникъ *ABC*, для котораго

$$(a^3+b^3-c^3):(a+b-c)=c^2,\ \sin A \sin B = \frac{3}{4},$$

гдѣ *a*, *b*, *c*—стороны, *A*, *B*—углы треугольника.

В. Гудковъ (Свеаборгъ).

№ 282 (4 сер.). Въ треугольникѣ *ABC* уголъ *C* вдвое больше угла *B*. Перпендикуляръ, возставленный въ точкѣ *A* къ прямой *AB*, встрѣчаетъ прямую *AB* въ точкѣ *D*. Доказать, что *BD*=2*AC*.

К. Пеніонжкевичъ (Екатеринбургъ).

№ 283 (4 сер.). Опредѣлить уголъ между основаніемъ и гранью правильной *n*-гранной пирамиды при условіи, что объемъ вписаннаго въ нее шара достигаетъ maximum'а.

Л. Ямпольскій (Braunschweig).

№ 284 (4 сер.). Вычислить острые углы прямоугольнаго треугольника, зная острый уголъ α между медіанами, проведенными къ его катетамъ.

Заимств.

№ 285 (4 сер.). При барометрическомъ давленіи въ 76 сант. погружаютъ узкую цилиндрическую трубку на половину ея длины *l* въ сосудъ со ртутью. Закрывъ верхнее отверстіе трубки, ее вынимаютъ изъ ртути. Опредѣлить, какая часть ртути выльется и какая останется въ трубкѣ?

М. Гербановскій (Заимств.).

РѢШЕНІЯ ЗАДАЧЪ.

№ 160 (4 сер.). *На окружности даны точки* A *и* B. *Провести въ извѣстномъ направленіи хорду* xy *такъ, чтобы сумма (или разность) дугъ* Ax *и* By *была данной величины.*

Пусть дана сумма дугъ *By* и *Ax*. Въ этомъ случаѣ точки *A* и *B* вообще не могутъ лежать по разныя стороны хорды *xy*; дѣйствительно, если бы это было такъ, то, отложивъ дугу $ByA_1=S$, находимъ, что $\smile Ax+\smile By=\smile A_1y+\smile By$, т. е. $\smile Ax=\smile A_1x$, откуда слѣдуетъ, что хорда *xy* параллельна AA_1. Наоборотъ, если заданное направленіе хорды *xy* совпадаетъ съ направленіемъ прямой AA_1, то всякая хорда, параллельная прямой AA_1 и лежащая по ту же сторону отъ нея, какъ и точка *B*, даетъ рѣшеніе задачи; при всякомъ же другомъ заданіи направленія искомой хорды задача не имѣетъ рѣшенія.

Итакъ будемъ искать общее рѣшеніе, предположивъ, что точки *A* и *B* лежатъ по одну сторону отъ хорды *xy*. Проведя AA_1 параллельно *xy* и отложивъ дугу *ByC*=*S*, находимъ: $\smile yc=\smile Ax=\smile A_1y$. Отсюда вытекаетъ построеніе; проведя хорду AA_1 въ заданномъ направленіи и отложивъ въ надлежащемъ направленіи дугу *BmC*=*S*, дѣлимъ дугу A_1C въ точкѣ *y* пополамъ и проводимъ черезъ точку *y* хорду *xy* параллельно AA_1.

Если дана разность $\smile By-\smile Ax=K$, то можно доказать, что въ этомъ случаѣ точки *A* и *B* лежатъ вообще по разныя стороны хорды *xy* и что построеніе для общаго случая остается то же, какъ и раньше; только дуга *BmC* замѣняется данной разностью

М. Поповъ (Асхабадъ); *В. Гудковъ* (Свеаборгъ).

№ 184 (4 сер.). *Опредѣлить точку такъ, чтобы сумма ея разстоянiй отъ четырехъ данныхъ точекъ на плоскости была бы наименьшая.*

Пусть A, B, C, D—данныя четыре точки, лежащiя въ одной плоскости. Разсмотримъ раньше тотъ случай, когда четыре точки A, B, C и D могутъ быть соединены прямыми въ такой послѣдовательности, чтобы образовался выпуклый четыреугольникъ; пусть, напримѣръ, послѣдовательность вершинъ этого четыреугольника будетъ A, B, C, D. Въ этомъ случаѣ точка встрѣчи M дiагоналей этого четыреугольника есть искомая. Дѣйствительно, пусть x — нѣкоторая точка плоскости, не совпадающая съ точкой M. Тогда

$$xA+xC\geqslant AC,\quad xB+xD\geqslant BD,$$

при чемъ знаки равенства могутъ быть взяты лишь въ одной изъ этихъ формулъ при условiи, если точка лежитъ на одномъ изъ отрѣзковъ AC или DB. Поэтому

$$xA+xC+xB+xD>AC+BD=MA+MB+MC+MD$$

Итакъ,

$$xA+xB+xC+xD>MA+MB+MC+MD \quad (1).$$

Если точка x лежитъ внѣ разсматриваемой плоскости, то

$$xA+xB+xC+xD>x'A+x'B+x'C+x'D\geqslant MA+MB+MC+MD,$$

гдѣ x'—проэкцiя точки x на разсматриваемую плоскость, и неравенство (1) остается справедливымъ.

Если никакая послѣдовательность точекъ A, B, C и D, соединяемыхъ прямыми, не дастъ выпуклаго четыреугольника, то въ этомъ случаѣ всегда можно расположить четыре данныя точки въ такой послѣдовательности, чтобы онѣ были вершинами четыреугольника съ однимъ входящимъ угломъ; пусть A, B, C, D есть требуемая для этого послѣдовательность вершинъ и пусть C—вершина входящаго угла.

Въ этомъ случаѣ точка C есть искомая.

Дѣйствительно, въ этомъ случаѣ, взявъ въ плоскости четыреугольника $ABCD$ точку x, несовпадающую съ точкой C, найдемъ, что изъ четырехъ отрѣзковъ xA, xB, xC, xD два всегда образуютъ ломаную, объемлющую ломаную, объемлющую одну изъ ломаныхъ, составляемыхъ двумя изъ трехъ отрѣзковъ AC, BC, BD. *) Пусть, напримѣръ, ломаная AxB объемлетъ ломаную ACB. Тогда

$$xA+xB>CA+CB,\quad xC+xD\geqslant CD,$$

а потому

$$xA+xB+xC>CA+CB+CD+CC \quad (2),$$

гдѣ $CC=0$.

Какъ и въ первомъ случаѣ, убѣдимся, что неравенство (2) тѣмъ болѣе справедливо для точки, лежащей внѣ плоскости четыреугольника.

Я. С. (Орелъ); *И. Плотникъ* (Одесса); *Н. С.* (Одесса).

---

*) Читатель можетъ убѣдиться въ этомъ путемъ интуицiи, придавая точкѣ x на чертежѣ различныя положенiя (на одной изъ прямыхъ AB, AD, BD, AC, CD, CB; внѣ этихъ линiй и внутри треугольника ABD; внѣ этихъ линiй и внѣ треугольника ABD, но внутри одного изъ угловъ этого треугольника); точное формальное доказательство этого положенiя вытекаетъ изъ опредѣленiй и теоремъ, о которыхъ рѣчь можетъ идти лишь въ спецiальныхъ работахъ, трактующихъ объ основанiяхъ геометрiи.

№ 194 (4 сер.). *Доказать, что треугольникъ* ABC *равносторонній, если его углы образуютъ ариѳметическую, а высоты геометрическую прогрессію.*

Пусть A, B, C—углы, a, b, c — противолежащія соотвѣтственно этимъ угламъ стороны, h_a, h_b, h_c — соотвѣтственныя высоты треугольника. Пусть B—средній членъ прогрессіи, образуемой углами. Тогда

$$2B=A+C,\quad A+B+C=180^\circ,$$

откуда $B=60^\circ$ (1).

Если h_b—средній членъ прогрессіи, образуемой высотами, тогда

$$\frac{h_a}{h_b}=\frac{h_b}{h_c},$$

откуда,—такъ какъ стороны обратно пропорціональны высотамъ,—

$$\frac{b}{a}=\frac{c}{b},\quad b^2=ac \quad (2).$$

Но (см. 1)

$$b^2=a^2+c^2-2ac\cos B=a^2+c^2-2ac\cos 60^\circ=a^2+c^2-ac,$$

или (см. 2)

$$ac=a^2+c^2-ac;\quad a^2+c^2-2ac=0,$$

$$(a-c)^2=0,\quad a=c;\quad A=C.$$

Но (см. 1) $A+C=120^\circ$, слѣдовательно, $A=B=C=60^\circ$.

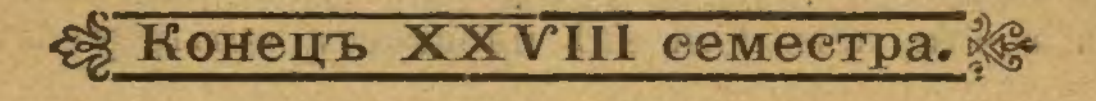
Если же не h_b средній членъ геометрической прогрессіи, образуемой высотами, а h_a или h_c (напримѣръ, h_a), то разсуждаемъ такъ:

$$\text{изъ } \frac{h_b}{h_a}=\frac{h_a}{h_c} \text{ находимъ } \frac{a}{b}=\frac{c}{a},$$

$$a^2=bc \quad (3).$$

Если $a<c$, то (см. 3) $b<a$; если $a>c$, то $b>a$, а потому $b<a<c$, или $b>a>c$. Слѣдовательно, $B<A<C$, или $B>A>C$, а значитъ, углы образуютъ прогрессію со среднимъ членомъ A, а не B, что противно предположенію. Итакъ, $a=c$, откуда (см. 3) $a=b$, т. е. опять треугольникъ оказывается равностороннимъ.

Г. Огановъ (Гомадзоръ); *И. Плотникъ* (Одесса); *Н. С.* (Одесса).



Редакторы: **В. А. Циммерманъ** и **В. Ф. Каганъ**. Издатель **В. А. Гернетъ**.

Дозволено цензурою, Одесса 8-го Января 1903 г.

Типографія Бланкоиздательства М. Шпенцера, Ямская, д. № 64.